

МИКРОТВЕРДОСТЬ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ С КАРБИДОМ КРЕМНИЯ И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Кобзарева Т.Ю.

Руководитель - д.ф. - м.н., профессор Громов В.Е.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк,
kobzarevatanya@mail.ru

В последние десятилетия получили развитие методы упрочнения, основанные на использовании концентрированных потоков энергии. К ним относятся электровзрывное легирование (ЭВЛ) и электронно-пучковая обработка (ЭПО) поверхности. Они позволяют проводить локальное упрочнение поверхности в местах ее наибольшего разрушения при эксплуатации и увеличивать функциональные свойства в несколько раз [1]. Целью данной работы явился исследование микротвердости поверхностных слоев образцов титанового сплава ВТ6, подвергнутых комбинированной обработке, сочетающей электровзрывное науглероживание с диборидом титата и последующее облучение электронными пучками.

Электровзрывное легирование титанового сплава ВТ6 проводили при поглощаемой плотности мощности $6,5 \text{ ГВт/м}^2$ [2]. В качестве взрывающего проводника использовали углеграфитовые волокна массой 140 мг. В область взрыва вводили порошковую навеску карбида кремния массой 50 мг. Последующую ЭПО осуществляли при плотности энергии пучка $E_s=45$ и 60 Дж/см^2 ; длительности импульсов $\tau = 100$ и 200 мкс и количестве импульсов $N=10$ и 20 [3].

Изменение прочностных характеристик упрочняемого слоя анализировали, определяя микротвердость поверхности облучения и строя профили микротвердости. Тестирование осуществляли по косым шлифам (поверхность шлифа наклонена к поверхности обработки на $\sim 7^\circ$). Распределение микротвердости по глубине зоны электровзрывного легирования титанового сплава ВТ6 представлено на рисунке 1. Максимум микротвердости достигается на поверхности легирования и превышает микротвердость объема в 6,6 раз. Толщина упрочненного слоя составляет $\sim 50 \text{ мкм}$, что превышает толщину слоя жидкофазного легирования. Профиль микротвердости изменяется существенно немонотонным образом: в поверхностном слое толщиной 8-10 мкм микротвердость снижается в $\sim 2,0$ раза, далее выявляется протяженное ($\sim 25 \text{ мкм}$) плато с высоким уровнем микротвердости ($\sim 700 \text{ МПа}$). При большем удалении от поверхности электровзрывного легирования микротвердость упрочняемого слоя быстро снижается.

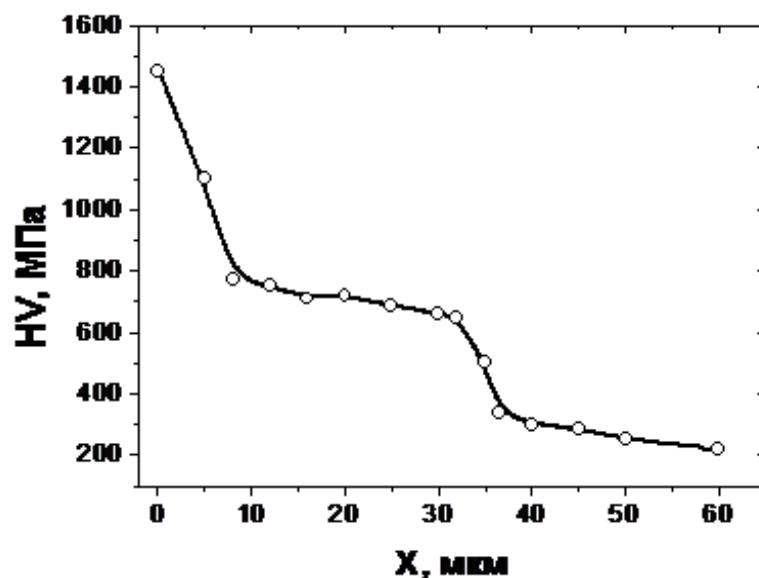


Рисунок 1. Профиль микротвердости образца титанового сплава ВТ6, упрочняемого путем электровзрывного науглероживания совместно с навеской порошка диборида титана

Последующая обработка легированного слоя титанового сплава ВТ6 высокоинтенсивным электронным пучком сопровождается изменением не только микротвердости поверхности легирования, но и профиля микротвердости (рисунок 2). На рисунке 1 цифрами указаны режимы электронно-пучковой обработки: 1) $E_s = 45 \text{ Дж/см}^2$, $\tau = 100 \text{ мкс}$, $N = 10$, $0,3 \text{ с}^{-1}$; 2) $E_s = 50 \text{ Дж/см}^2$, $\tau = 100 \text{ мкс}$, $N = 10$, $0,3 \text{ с}^{-1}$; 3) $E_s = 60 \text{ Дж/см}^2$, $\tau = 100 \text{ мкс}$, $N = 10$, $0,3 \text{ с}^{-1}$; 4) $E_s = 45 \text{ Дж/см}^2$, $\tau = 200 \text{ мкс}$, $N = 20$, $0,3 \text{ с}^{-1}$. Во-первых, наблюдается снижение микротвердости поверхностного слоя, по сравнению с образцом после электровзрывного легирования (рисунок 1). Микротвердость поверхности упрочнения зависит от режима электронно-пучковой обработки и изменяется в пределах от 1260 МПа (режим 1) до 770 МПа (режим 4).

Во-вторых, максимального значения микротвердость, более чем в 6 раз превышающего величину микротвердости объема образца, достигает в приповерхностном слое на глубине 10 - 15 мкм. В-третьих, не зависимо от режима облучения, электронно-пучковая обработка приводит к формированию объемных максимумов микротвердости [4]. В-четвертых, существенно (более 100 мкм) увеличивается толщина упрочненного слоя. В-пятых, увеличение плотности энергии пучка электронов с $E_s = 45 \text{ Дж/см}^2$ до $E_s = 60 \text{ Дж/см}^2$ при постоянном общем времени обработки ($\tau = 100 \text{ мкс}$, $N = 10$) приводит к увеличению толщины упрочненного слоя с 70 мкм до 100 мкм. В-шестых, увеличение времени облучения с $\tau = 100 \text{ мкс}$, $N = 10$ до $\tau = 200 \text{ мкс}$, $N = 20$ при плотности энергии пучка электронов $E_s = 45 \text{ Дж/см}^2$ приводит к снижению микротвердости поверхности обработки в $\sim 1,6$

раза; формированию приповерхностного максимума микротвердости и увеличению толщины упрочнения слоя в $\sim 1,3$ раза.

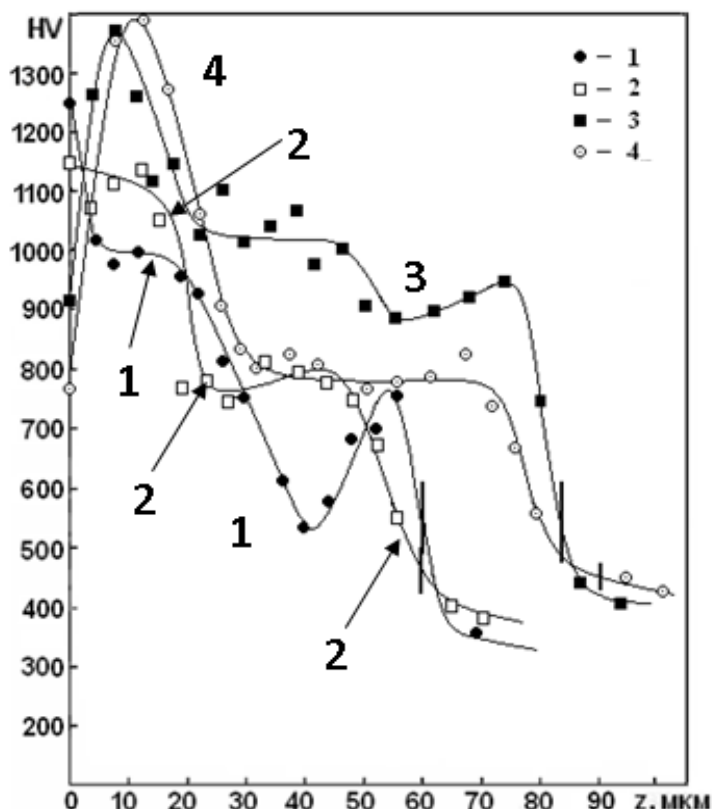


Рисунок 2. Распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя титанового сплава ВТ6 после комбинированной обработки

Таким образом, ЭВЛ титанового сплава ВТ6 (УТВ с навеской порошка диборида титана) позволяет многократно (более чем в 6,6 раз) увеличить микротвердость поверхности упрочнения при общей толщине упрочненного слоя ~ 50 мкм. Последующая обработка легированного слоя высокоинтенсивным импульсным электронным пучком при оптимальном режиме облучения $E_s = 60$ Дж/см², $\tau = 100$ мкс, $N = 10$ имп., $0,3$ с⁻¹ приводит к повышению микротвердости поверхностного слоя более чем в 6 раз (по отношению к микротвердости объема образца) при общей толщине упрочненного приповерхностного слоя более 100 мкм.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ научного проекта №13-02-12009 офи_м и госзадания Минобрнауки № 2708Г

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Полмеар Я. Легкие сплавы: от традиционных до нанокристаллов. М.: Техносфера, 2008.
2. Багаутдинов А.Я., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов. Новокузнецк: СибГИУ, 2007.
3. Карпий С.В., Морозов М.М., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Структура, фазовый состав и свойства титана после электровзрывного легирования и электронно-пучковой обработки. Новокузнецк: Изд-во НПК, 2010.
4. Глезер А.М., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Шаркеев А.П. Наноматериалы: структура, свойства, применение. Новокузнецк: Изд-во «Интеркузбасс», 2012.
5. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: Справочник. М.: ВИЛС-МАТИ, 2009.